



## Aide à la décision en agriculture et gestion des ressources naturelles : note introductive

Eric Jallas, Michel Crétenet

### ► To cite this version:

Eric Jallas, Michel Crétenet. Aide à la décision en agriculture et gestion des ressources naturelles : note introductive. Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis., 2003, Garoua, Cameroun. 8 p. hal-00143508

**HAL Id: hal-00143508**

**<https://hal.science/hal-00143508>**

Submitted on 25 Apr 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

*« Celui qui ne prévoit pas les choses lointaines  
s'expose à des malheurs prochains »  
Confucius*

# Aide à la décision en agriculture et gestion des ressources naturelles

## Note introductive

Eric JALLAS, Michel CRETENET

CIRAD-CA, Programme Coton, TA 72/09, 34398 Montpellier Cedex 5

**Résumé** — L'aide à la décision n'a pas pour but de se substituer aux décideurs en leur proposant des solutions « toutes faites ». Elle cherche plutôt à les éclairer et à les guider vers des décisions dont ils conservent la responsabilité. Dans le domaine agricole et dans celui de la gestion des ressources naturelles, il existe aujourd'hui de nombreux outils d'aide à la décision. Les systèmes experts utilisent une base de connaissances afin de fournir des solutions, équivalentes à celles que fournirait un expert. Les modèles de fonctionnement sont des logiciels qui simulent, à différents niveaux de complexité, le fonctionnement d'un peuplement. Les systèmes d'aide à la décision reposant sur la représentation des connaissances et la mise en œuvre d'algorithmes d'optimisation sont les produits d'une branche moderne et importante de l'intelligence artificielle. Enfin les systèmes les plus récents intègrent des représentations spatiales et des SIG. Les orientations les plus récentes vont vers le futur : agriculture de précision et gestion collective des ressources.

**Abstract** — **Help for decision making in agriculture and management of natural resources.** Help for decision making is not intended to supersede the decision makers by proposing them the "ready made" solutions. It rather aims at enlightening and guiding them towards decisions for which they are responsible. In the area of agriculture and natural resources management, there are many tools for assistance to decision making to day. The systems-experts utilise a knowledge base to provide solutions equivalent to those an expert could provide. The functioning patterns are softs that simulate the functioning of people's settlement at different levels of complexity. The help systems for decision making founded on the representation of knowledge and implementation of optimising algorithms are the products of a modern and important branch of artificial intelligence. Finally, the most recent systems integrate space and GSI representations. The latest orientations are geared to the future: precision agriculture and collective management of resources.

## Introduction

### L'aide à la décision et son importance dans la recherche agronomique pour le développement

« L'aide à la décision est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans un processus de décision » (Roy, 1985). Cependant, l'aide à la décision n'a pas pour but de se substituer aux décideurs en leur proposant des solutions « toutes faites ». Elle cherche d'abord à les éclairer et à les guider vers des décisions qu'ils auront la responsabilité de prendre. Elle peut aussi proposer un jeu de décisions alternatives répondant à un attendu précis.

L'aide à la décision s'élabore autour d'un axe qui relie la structuration de l'information à son traitement par des techniques spécifiques de calcul. Aujourd'hui les activités de recherche en « aide à la décision » concernent de très nombreux domaines tels que :

- la représentation des connaissances (« frame », ontologies, base de connaissances, systèmes experts, etc.) ;
- la compréhension des processus de décision humains (mécanismes de décision individuelle et collective, modélisation des préférences et des croyances, multi-agents, etc.) ;
- le fonctionnement du cerveau (réseaux de neurone, robotique, apprentissage automatique, etc.) ;
- le développement d'algorithmes de traitement de l'information (propagation de l'information, traitement de l'information préférentielle, logique, logique floue, etc.) ;
- le développement d'algorithmes d'optimisation (algorithmes génétiques, recuit simulé, etc.) ;
- les relations homme - machine ;
- etc.

La conduite de recherche dans le domaine de l'aide à la décision nécessite la mise en œuvre de méthodes et connaissances spécifiques à la discipline. En effet il s'agit de comprendre les processus de décision individuelle et collective, de modéliser ces processus, de concevoir et d'évaluer des systèmes d'aide à la décision, d'utiliser et évaluer les outils de productivité (outils d'aide à la modélisation...), etc. L'objectif de ces recherches est aussi bien la réalisation d'outils théoriques (modèle de la coopération, modèle de représentation des connaissances) que logiciels (structuration des connaissances, systèmes d'aide à la décision, modèles de simulation).

La reconnaissance de la place respective des différents acteurs (chercheurs, vulgarisateurs, communautés villageoises, agriculteurs) intervenant dans le développement rural des régions chaudes, est nouvelle. En effet dans un passé proche les chercheurs avaient essentiellement une activité de recherche en substitution aux recherches nationales naissantes. De plus, l'à priori que la résolution des problèmes de développement rural passait par « la Technique » a longtemps maintenu l'Humain dans un rôle annexe. L'absence de reconnaissance des différents acteurs dans leurs logiques de décision est révélatrice de cet état d'esprit. Ainsi trop souvent les travaux des chercheurs se traduisaient par la production de recommandations technicistes et normatives. Les limites rencontrées par la recherche agronomique tropicale et l'évolution des mentalités, liée à l'émergence de compétences au Sud et l'acquisition de nouvelles connaissances, changent la vision qu'ont les chercheurs tant de leur mission que de leur propre métier. Ainsi actuellement nombre d'agronomes n'ont plus pour objectif d'inventer ou d'adapter de nouvelles techniques aux conditions agricoles tropicales, mais ils cherchent à comprendre quels sont les freins culturels, sociologiques et économiques à l'adoption de techniques par ailleurs disponibles.

Parallèlement à cette évolution des mentalités un débat s'est fait jour, dans le domaine de l'agronomie, pour mieux aborder les problèmes de gestion des ressources naturelles. En effet les études au niveau de l'exploitation agricole ne prenaient pas en compte les changements qui surviennent à des échelles supérieures, et inversement, les modèles de prévision économique ne prenaient pas en compte la diversité des processus aux échelles inférieures. Actuellement la tentative est de concilier ces approches à travers « l'écorégionalité ». Le choix de l'écorégion amène les deux approches à raisonner sur une même échelle sur laquelle on pourra prendre en compte les dynamiques naturelles et les dynamiques sociales (Rabbinge, 1995). Se pose alors la question du transfert d'échelle et de l'intégration car l'intégration des dynamiques sur un espace qui comprend des ressources multiples et des acteurs aux comportements divers ne peut se réduire à un simple exercice d'emboîtement de poupées russes. L'image des hiérarchies dynamiques enchevêtrées paraît plus appropriée.

Compte tenu des évolutions décrites ci-dessus, on comprend l'engouement récent pour l'aide à la décision, démarche et outils qui redonnent toute leur place aux acteurs-décideurs intervenant tout autant dans le développement rural que dans l'utilisation des ressources naturelles. De la même façon l'aide à la décision redonne sa place naturelle à la recherche dans son rôle de contribution au développement rural. Il semble donc normal que la communauté de la recherche agronomique pour le développement s'engage résolument dans des activités de recherche spécifiques au domaine de l'aide à la décision.

Tant dans le domaine agricole que dans celui de la gestion des ressources naturelles, il existe aujourd'hui de nombreux outils d'aide à la décision, certains sont d'ailleurs le résultats de travaux de recherche conduits par des équipes du CIRAD positionnées sur ce créneau.

## **Systèmes d'aide à la décision utilisés en agriculture ou en gestion des ressources naturelles**

Dans la représentation circulaire de l'interaction hommes-nature (proposée par l'économie de l'environnement), l'environnement offre des services évaluable à la société, en retour les hommes transforment l'environnement, ce qui, en contraignant les décisions d'autres agents, constitue une externalité. Des politiques et outils de gestion appropriés permettent alors d'inciter à un usage efficient des services naturels et à la compensation des externalités. La définition et la mise en œuvre de ces politiques et outils de gestion sont le résultat d'un processus de négociation entre les acteurs. La complexité de ces processus et la nécessité de prendre en compte les interactions entre les acteurs dans leur dynamique a obligé les économistes de l'environnement à se situer dans le domaine des sciences de la complexité (Gell-Mann, 1994). Aujourd'hui ils font appel à ses méthodes et plus particulièrement à la modélisation de la dynamique des interactions, aux systèmes multi-agents, aux automates cellulaires, etc., cela dans une finalité à la fois analytique et décisionnelle.

La conduite de systèmes agricoles consiste en une succession de décisions, prises par le producteur (agriculteur, propriétaire forestier, éleveur, etc.) qui se traduisent à travers des actions orientant la transformation d'intrants (matières, énergie, capital) en une production agricole de façon à satisfaire certains objectifs et contraintes (Martin-Clouaire, 1999). C'est, par exemple, le choix d'un assolement, la mise en place d'un itinéraire technique, l'investissement dans du matériel, etc. La diversité des conditions de production et des objectifs des producteurs ne permettent plus une approche normative des recommandations économiques et techniques. La complexité et la variabilité des processus de production ont amené la recherche agronomique à développer et proposer aux différents acteurs des outils d'aide à la décision.

Nous présentons ici un certain nombre de ces outils que nous avons regroupés arbitrairement en fonction de la caractéristique qui nous a semblé la plus discriminante compte tenu des utilisations actuelles et potentielles.

### **Les SAD à base de connaissances**

Les principaux systèmes d'aide à la décision à base de règles sont les systèmes experts (SE). Un SE est un logiciel utilisant une base de connaissances afin de fournir des solutions, équivalentes à celles que fournirait un expert, à des questions dans un domaine spécifique. Ainsi, par nature, les systèmes experts ne sont développés que pour répondre à un ensemble restreint de questions « économiquement » importantes pour lesquelles il n'existe pas de réponse analytique directe et qui concernent un domaine dans lequel une expertise humaine est disponible. Un SE est composé d'une « base de règles », d'une « base de faits », d'un « moteur d'inférence » et d'une « interface utilisateur ». La connaissance contenue dans un système expert est explicite et le cheminement utilisé pour aboutir à une solution est indiqué à l'utilisateur qui peut ainsi en apprécier la pertinence.

Parmi les SE disponibles en agriculture et utilisés, on peut, par exemple, citer :

- COMAX, (Lemon *et al.*, 19xx), ce système expert fournit, à partir de résultats de simulations (GOSSYM, COTONS), des recommandations en ce qui concerne l'irrigation, la fertilisation azotée et l'utilisation de régulateurs de croissance pour la culture cotonnière ;
- ALES, ce système expert est utilisé pour évaluer les potentialités des sols suivant la méthode FAO (1976) ;

– SOILCROP, développé par le CLBRR. Ce système expert utilise une information géo-référencée sur les sols, le savoir du producteur et les résultats du modèle EPIC pour élaborer un diagnostic et un pronostic sur la dégradation des terres et l'évaluation de la productivité

## **Les SAD utilisant des modèles de fonctionnement**

Les modèles de fonctionnement (Crop Model) sont des logiciels qui simulent, à différents niveaux de complexité, le fonctionnement d'un peuplement. Aujourd'hui, ils représentent le paradigme du modèle « mécaniste ». L'idée centrale est d'exploiter au mieux les relations connues sur le fonctionnement de la plante et de minimiser l'empirisme. En général ces modèles décrivent le fonctionnement du peuplement cultivé, sur un pas de temps journalier, à travers la production d'assimilats et leur répartition entre les différents organes. La parcelle cultivée est représentée à travers un plant moyen. Le climat, le sol, les interventions culturales et les caractéristiques variétales sont utilisés pour simuler le développement, la croissance et la production de ce plant moyen. Les objectifs généraux fixés à ces modèles de simulation des cultures sont :

- d'améliorer la capacité des différents acteurs de la filière plante qui est considérée à maîtriser une production en quantité et qualité, à leurs niveau et profit respectifs ;
- de rendre plus explicite le raisonnement d'objectifs de production à différentes échelles, par une meilleure connaissance des processus (i) d'élaboration du rendement et de la qualité, et (ii) d'évolution des sols sous les systèmes de culture pratiqués. Cette meilleure maîtrise par les acteurs vise à améliorer la productivité et la compétitivité de la filière dans son ensemble, ainsi que le caractère durable de ces améliorations.

A part le modèle COTONS (Jallas, 1998) la géométrie et l'architecture des plants ne sont pas pris en compte dans le fonctionnement du plant. Parmi les SAD à base de modèles de fonctionnement, il faut citer :

- DSSAT (Thornton, 1991), développé originellement par l'Université d'Hawaii, il est distribué par l'ICASA ; DSSAT intègre les modèles de la famille CERES (Otter et Ritchie, 1985), ceux de la famille CROPGRO et de la famille CROPSIM ; le système permet de tester, sur 16 cultures, des hypothèses tant sur les itinéraires techniques que sur les conditions environnementales ;
- COTONS, (Jallas *et al.*, 1999) ce modèle, propre à la culture cotonnière, est le seul modèle au monde qui simule réellement un peuplement (et non un plant moyen) et la variabilité au sein de ce peuplement ; il est utilisé par les agriculteurs, les conseillers agricoles et les chercheurs pour tester des ITK, établir des stratégies de production et conduire la culture au jour le jour ;
- DECIBLE (Meynard, 1994) et SEPATOU (Cros, 1999), le premier porte sur la conduite d'une culture de blé d'hiver au niveau d'une parcelle et le second concerne l'évaluation de stratégie de conduite du pâturage tournant pour un troupeau laitier bovin.

## **Les SAD intégrant des algorithmes d'optimisation**

Les SAD reposant sur la représentation des connaissances et la mise en œuvre d'algorithmes d'optimisation sont les produits d'une branche moderne et importante de l'intelligence artificielle. En effet le problème de la représentation des connaissances est central en IA car pour construire un système dit intelligent il est impératif de « capturer » les caractéristiques essentielles et fondamentales du domaine pour lequel est développé le système intelligent et de rendre cette information accessible à une procédure de résolution de problèmes. La représentation des connaissances et la procédure de résolution de problèmes sont donc les deux caractéristiques constitutives de ces systèmes. On peut citer plusieurs exemples de SAD de ce type.

- SERRISTE, (Martin-Clouaire *et al.*, 1993), est un système dont le fonctionnement repose sur la résolution par satisfaction de contraintes. Dans SERRISTE les connaissances sont exprimées sous forme de contraintes, qui portent pour la plupart sur des variables numériques. Pour chaque variable, le domaine des valeurs souhaitables, plus ou moins acceptables ou exclues est défini. Pour élaborer des consignes, le système examine, pour l'ensemble des variables, toutes les combinaisons de valeurs qui satisfont toutes les contraintes. Le mécanisme de résolution est basé sur les algorithmes de filtrage et de recherche arborescente utilisée classiquement en intelligence artificielle. Utilisé par un producteur, SERRISTE détermine la « meilleure » combinaison de variables pour la conduite climatique de la serre.

- Adventrop (Lebourgeois *et al.*, 1996) est un système de reconnaissance des adventices d'Afrique soudano-sahélienne. Les plantes sont décrites par la présence ou l'absence de caractéristiques botaniques et un moteur de recherche couplé à une interface utilisateur identifie la plante recherchée et évalue la probabilité de vraisemblance de cette identification.
- XITEK est un système qui apprend automatiquement des stratégies de conduite d'une culture exprimées par un ensemble de règles de décision. Ce système exploite le simulateur DECIBLE et réalise une optimisation en utilisant des techniques d'apprentissage par renforcement.

En plus des grands types de SAD décrits ci-dessus il existe en agriculture des SAD reposant sur la programmation linéaire<sup>1</sup> et des prototypes de SAD mettant en œuvre des techniques modernes d'IA : réseaux de neurones, algorithmes génétiques, systèmes multi-agents... Par exemple, Jallas *et al.* (1998) ont développé un système d'aide à l'irrigation mettant en œuvre un algorithme génétique (AG) connecté à un modèle de fonctionnement.

## Les SAD intégrant des représentations spatiales et des SIG

Les espaces dont les ressources sont exploitées par des usagers multiples sont des systèmes complexes. On y observe d'une part des dynamiques naturelles à l'échelle d'un organisme, d'une population ou de peuplements, et d'autre part des dynamiques sociales à l'échelle des individus ou des organisations. La compréhension des modes d'appropriation des ressources naturelles (ceci recouvrirait les problèmes de représentations, d'accès, d'usage, de transfert et de répartition), et des formes d'appropriations (débouchant sur la question des institutions et des modes de gestion, est essentielle si l'on veut pouvoir agir intentionnellement sur la gestion de ces espaces naturels. L'action nécessite alors une bonne connaissance des processus de décision, et d'interactions entre des acteurs ayant des poids et des représentations différents (analyser les processus de décision, en comprendre la dynamique pour déboucher sur une aide à la négociation).

Dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables, la prise en compte des interactions entre les dynamiques agraires et les dynamiques d'usage des ressources est primordiale. La modélisation est un moyen de comprendre les interactions entre ces deux dynamiques. Les objectifs poursuivis sont :

- la compréhension des processus de prise de décision, à différents niveaux d'organisation, dans la gestion des produits agricoles et des ressources naturelles et renouvelables ;
- la connaissance des types de représentation, d'accès, d'usage et de répartition des ressources afin de construire des modèles et des systèmes d'aide à la décision pour les acteurs locaux.

Dans ce domaine, l'aide à la décision est perçue comme une aide à la négociation, en confrontant les points de vue des différents acteurs impliqués. Ce dernier point rejoint l'interrogation sur la légitimité du modèle: c'est dans son usage que le modèle démontre son utilité par rapport à un objectif initialement assigné. Il s'agit de définir les modes d'utilisation pour assister les décisions en cours. Depuis quelques années les systèmes multi-agents (SMA) sont utilisés pour modéliser la gestion de ressources renouvelables, telles la forêt, la faune sauvage, l'eau. Ils commencent aujourd'hui à être utilisés au Cirad pour des ressources produites (plantations en Indonésie, coton au Zimbabwe) ou des déchets de production agricole (La Réunion). Ces modèles sont efficaces pour représenter des phénomènes d'interactions entre des entités autonomes. En général, ils sont appliqués à problèmes de coordination sociale et de dynamiques de l'espace (Bah *et al.*, 1998; Lardon *et al.*, 1998; Zunga *et al.*, 1998). Comme exemple de SAD de ce type on peut citer : Cormas (Bousquet *et al.*), système multi-agents appliqué à la gestion des ressources renouvelables. Ce SAD peut être utilisé pour simuler différents scénarios et faire discuter les acteurs. Il peut aussi être utilisé dans une philosophie de recherche de solutions ; la problématique générale est celle de l'intervention des modèles informatiques dans le processus de décision collective (Attonaty *et al.*, 1989 ; Attonaty *et al.*, 1996).

---

<sup>1</sup> La programmation linéaire est un outil adapté à l'optimisation d'un objectif *linéaire* quand plusieurs contraintes *linéaires* sont imposées.



## Le futur : agriculture de précision et gestion collective des ressources

Les pressions économiques et environnementales conduisent actuellement l'ensemble des acteurs du monde agricole à redéfinir les normes et méthodes de productions. Produire mieux, en quantité et qualité, et dans le respect de notre environnement est le slogan du monde agricole en cette fin de siècle. C'est dans ce cadre que sont apparus les concepts de fertilisation raisonnée, d'irrigation maîtrisée, etc., et plus récemment d'agriculture de précision. Ce dernier concept correspond à une « gestion modulée des intrants (semences, eau d'irrigation, engrais, fongicides, herbicides, insecticides...) afin d'adapter aux caractéristiques hétérogènes d'une parcelle l'ensemble des travaux agricoles : travail du sol, semis, apports d'engrais, protection des cultures, irrigation... » (INRA, 1999). Cette « gestion modulée » repose sur l'utilisation d'informations géoréférencées (utilisation de GPS) décrivant la variabilité intra-parcellaire (carte de rendement, carte des caractéristiques du sol, etc) obtenues de façon automatisée (capteurs sur les appareils de récolte, photo-aériennes, etc.) ou manuelles (prélèvement de sol par exemple). Cependant, compte tenu de leur quantité, pour pouvoir donner lieu à une utilisation opérationnelle ces informations doivent être traitées par des systèmes automatiques d'analyse qui peuvent être reliés à des systèmes d'aide à la décision. La mise en œuvre d'une démarche d'agriculture de précision nécessite trois étapes :

- l'acquisition d'informations géoréférencées utilisables dans un processus de prévision d'évolution du système bio-physique que l'on veut piloter ;
- l'analyse et l'interprétation de ces informations pour en déduire un jeu de solutions prenant en compte la variabilité intra-parcellaire et se traduisant par des décisions ;
- la mise en place des décisions, ce qui suppose l'accès à des techniques permettant, par exemple, de moduler l'apport des intrants dans la parcelle en fonction de la variabilité intra-parcellaire.

L'agriculture de précision repose sur l'utilisation d'une quantité d'informations trop importante pour pouvoir être analysée de façon opérationnelle, par une, voire quelques personnes. Dans ces conditions l'agriculture de précision reposera de façon fondamentale sur l'utilisation de modèles agronomiques et d'outils d'aide à la décision. On peut considérer, sans risque de se tromper, qu'elle sera le premier client des SAD agricoles pour la décennie qui vient.

La prise de conscience collective (Rio, etc.) de la fragilité de notre Terre a permis l'émergence de programmes de recherches conséquents sur l'environnement. Le stockage du carbone, la gestion de l'eau, la collectivisation de patrimoines génétiques, etc., sont issus de cette dynamique. Les recherches sur l'environnement, situées à l'interface des dynamiques naturelles et sociales, abordent les problèmes de développement à travers les questions sur les ressources et les externalités. Elles traitent ainsi de la gestion des ressources renouvelables, de la gestion des externalités de la production (pollution, effluents...), et de la gestion des espaces supports d'usages multiples. Les dynamiques naturelles se caractérisent par l'imbrication de multiples processus concernant des ressources variées considérées à des échelles spatiales et temporelles différentes. Les processus sociaux concernent différents acteurs correspondants à plusieurs niveaux d'organisation, des individus ou des communautés d'usagers des ressources et des espaces jusqu'aux grandes institutions chargées du développement. Les enjeux portent sur une régulation des usages adaptée aux dynamiques naturelles par l'emploi d'outils économiques, juridiques ou institutionnels de gestion. Dans tous les cas, il s'agit de problèmes de gestion collective à l'interface de processus écologiques et de processus sociaux d'exploitation.

Ainsi comme pour l'agriculture de précision, il apparaît clairement que la recherche environnementale sera, pour son domaine d'étude, un moteur essentiel dans le développement et l'utilisation des systèmes d'aide à la décision.

Compte tenu des deux « tendances fortes » ci-dessus identifiées, assimilables à des demandes encore non explicites, mais aussi compte tenu de la mission confiée à la recherche agronomique pour le développement et des évolutions observées depuis de nombreuses années dans les zones rurales des pays chauds, on peut légitimement penser que la recherche agronomique tropicale aura rapidement à contribuer à la satisfaction de ces demandes. Cette contribution sera alors, et certainement pour de nombreuses années, un élément majeur de son activité.

## Bibliographie

- ALLEN T.F.H., STARR T.B., 1982. Hierarchy: Perspectives for Ecological Complexity. University of Chicago Press, Chicago.
- ARROW K.J., FISHER A., 1974. Environmental Preservation, Uncertainty, and Irreversibility. *Quarterly Journal of Economics*, 88 : 312-319.
- ATTONATY J.-M., LAPORTE C., PAPY F., SOLER L.-G., 1989. Vers de nouveaux modèles d'aide à la décision en agriculture. *Annales des Mines, série gérer et comprendre*, 15 : 38-48.
- ATTONATY J.-M., CHATELIN M.-H., GARCIA F. 1996. Interactive simulation modelling in farm decision making. 6th Int. Congress for Computer Technology in Agriculture, Wageningen, 16-19 juin 1996.
- BAH A., CANAL R., D'AQUINO P., BOUSQUET F., 1998. Les SMA génétiques pour l'étude de la mobilité pastorale en zone intertropicale sèche. Actes du colloque Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires, Clermont-Ferrand, octobre 1998.
- BERKES F., FEENY D., MCCAY B.J., ACHESON J.M., 1989. The benefits of the commons. *Nature*, 340 : 91-93.
- BOUSQUET F., CAMBIER C., MULLON C., MORAND P., QUENSIERE J., 1994. Simulating fishermen society, Symposium of Simulating Societies, University of Surrey, Guildford, UK, April 1992.
- BOUSQUET F., CAMBIER C., MULLON C., MORAND P., QUENSIERE J., PAVÉ A., 1993. Simulating the Interaction between a society and a renewable resource, *Journal of Biologed Systems*, vol 1 et 2, World Scientific Publishing Compagny.
- BOUSQUET F., 1994. Des milieux, des poissons, des hommes : étude par simulations multi-agents. Thèse présentée à l'Université Claude Bernard - Lyon I. ORSTOM éditions.
- CLARK C.W., 1990. Mathematical Bioeconomics; The Optimal Management of Renewable Resources. John Wiley & Sons Inc., New York.
- CROS M.-J., DURU M., GARCIA F., MARTIN-CLOUAIRE R., 1999 A DSS for Rotational Grazing Management: Simulating both the Biophysical and Decision Making Processes. *Proc MODSIM99*, pp. 759-764.
- DORAN J., PALMER M., 1993. The EOS project :Integrating two models of Palaeolithic social changes.
- DROGOUL A., FERBER J., CAMBIER C., (1994. Multi-agent Simulation as a Tool for Analysing Emergent Processes in Societies, Symposium of Simulating Society, University of Surray, UK, April 1992.
- FERBER J., 1995. Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective. Inter éditions.
- FOGELMAN SOULIÉ F., 1991. Les théories de la complexité autour de l'œuvre d'Henri Atlan. Seuil, Paris.
- GARCIA F., 1999. Use of reinforcement learning and simulation to optimize wheat crop technical management. *Proc MODSIM99*, p. 801-806.
- GELL-MANN M., 1994. Le quark et le jaguar. Voyage au cœur du simple et du complexe. Albin Michel Sciences, Paris.
- HARDIN G., 1968. The tragedy of the commons. *Science* 162 : 1243-1248
- JALLAS E., SEQUEIRA R., BOGGESS G., 1998. Evolutionary Algorithms for Knowledge Discovery and Model-based Decision Support. Third IFAC/CIGR Workshop on Artificial Intelligence in Agriculture, p. 115-120.
- JALLAS E., 1998. Improved Model-based Decision Support by Modeling Cotton Variability and Using Evolutionary Algorithms. PhD Dissertation, Mississippi State.
- JALLAS E., CRÉTENET M., SEQUEIRA R., TURNER S., GÉRARDEAUX E., MARTIN P., JEAN J., CLOUVEL P., 1999. COTONS, Une nouvelle génération de modèles de simulation des cultures. *Agriculture et développement*, 22 : 35-46.



- JEANNEQUIN B., MARTIN-CLOUAIRE R., TCHAMITCHIAN, 1997. M. Planning daily climate set points for a greenhouse tomato production: the SERRISTE system. Proc. of the INRA-KCW Workshop on Decision Support Systems, October 22-23, Laon, p. 9-14.
- KAST R. La théorie de la décision. Editions La Découverte, Coll. Repères 1993.
- LARDON S., BARON C., BOMMEL P., BOUSQUET F., LEPAGE C., LIFRAN R., MONESTIEZ P., REITZ P., 1998. Modéliser les configurations et les stratégies spatiales dans un système multi-agents pour la maîtrise de dynamiques d'embroussaillage. Actes du colloque Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires, Clermont-Ferrand, octobre 1998.
- Le-BOURGEOIS T., GRARD P., MERLIER H., 1996. Adventrop : un système multimédia pour l'identification et la connaissance des adventices tropicales. *In* Colloque international sur la biologie des mauvaises herbes. 10. International symposium on the biology of weeds. Dijon, France, 11-13 septembre 1996.
- LEVINE P., POMEROL J-C., 1989. Systèmes interactifs d'aide à la décision et systèmes experts. Paris, France, Ed. Hermès.
- MARTIN-CLOUAIRE R., KOVATS K., CROS M.J., 1993. Determination of greenhouse climate setpoints by SERRISTE: the approach and its object-oriented implementation. *AI-applications (USA)*, 7 (1) : 1-15.
- MARTIN-CLOUAIRE R., 1999. Decision en conduite de système agronomique: le point de vue de département BIA. Annexe 3 du schéma directeur de BIA (1999-2003).
- MEYNARD J.M., 1994. Strategic decision support in plant protection. The case of disease control in the wheat crop [DECIBLE]. *In* Conférence internationale sur les maladies des plantes. Bordeaux, France, 6-8 décembre 1994.
- OSTROM E., 1990. Governing the Commons. Cambridge University Press, Cambridge.
- OTTER S., RITCHIE J.T., 1985. Validation of the CERES-wheat model in diverse environments. *NATO-Adv-Study-Inst-Ser-Ser-A-Life-Sci.* New York, N.Y. : Plenum Press, 86 : 307-310.
- PAVE A., 1994. Modélisation en biologie et en écologie. Aléas, Lyon.
- RABBINGE R., 1995. Eco-regional approaches, why, what and how. *In* Bouna J. *et al.*, (eds), *Eco-regional approaches for sustainable land use and food production*. Kluwer Academic Publishers, Pays-Bas.
- ROY B., BOUYSSOU D., 1993. Aide multicritère à la décision : méthodes et cas, Economica, Paris.
- SEBILLOTE M., SOLER L.-G., 1988. Le concept de modèle général et la compréhension du comportement de l'agriculteur. *C.R. Académie d'Agriculture française* 74 : 59-70.
- SEQUEIRA R.A., JALLAS E., 1995. GOSSYM-COMAX : simulation de la croissance du cotonnier et utilisation par l'agriculteur d'un système d'aide à la décision. *Agriculture et développement*, 8 : 25-34.
- SEQUEIRA R.A., MCKINION J., JALLAS E., CRÉTENET M., 1996. Cotton modelling and management. *ICAC Recorder (USA)*, 14 (4) : 10-51.
- SFEZ L., 1992. Critique de la décision, Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques, 4<sup>e</sup> édition entièrement refondue et augmentée (première édition : 1973), Paris.
- THORNTON P.K., DENT J.B., BACSI Z., 1991. A framework for crop growth simulation model applications. *Agric-Syst.* Essex : Elsevier Applied Science Publishers, 37 (4) : 327-340.
- VINCKE P., 1989. L'aide multicritère à la décision. Éditions Ellipses et Bruxelles, éditions de l'ULB, Paris.
- ZUNGA Q., VAGNINI A., LEPAGE C., TOURE I., LIEURAIN E., BOUSQUET F., 1998. Coupler systèmes d'information géographique et systèmes multi-agents pour modéliser les dynamiques de transformation des paysages. Le cas des dynamiques foncières de la moyenne vallée du Zambèze (Zimbabwe). Actes du colloque Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires, Clermont-Ferrand, octobre 1998.